⑲日本国特許庁(JP)　⑪特許出願公開

⑫公開特許公報(A)　平2-192947

⑤Int.Cl.⁵　識別記号　庁内整理番号　⑬公開　平成2年(1990)7月30日

B 41 J 2/045

7513-2C　B 41 J 3/04　103 A

審査請求　未請求　請求項の数 7　(全13頁)

⑭発明の名称　インクジエツト記録ヘツドの駆動方法

⑳特　願　平1-192158

㉒出　願　平1(1989)7月25日

優先権主張　㉜昭63(1988)10月14日㉝日本(JP)㉞特願　昭63-259007

⑦発明者　松本　浩造　神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号　富士電機株式会社内

⑦発明者　吉沢　孝二　神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号　富士電機株式会社内

⑦発明者　佐々木　光祐　神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号　富士電機株式会社内

⑦出願人　富士電機株式会社　神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

⑦代理人　弁理士　森田　雄一

最終頁に続く

明　細　書

1．発明の名称

インクジェット記録ヘッドの駆動方法

2．特許請求の範囲

(1) インク加圧室と、このインク加圧室に連通するインクノズルと、前記インク加圧室の外側に配置され、かつ電圧パルスの印加により変形して前記インク加圧室の容積を減少させる電気機械変換素子とを備え、この電気機械変換素子の変形の際に生じる圧力波により前記インク加圧室内のインクを加圧して前記インクノズルから吐出させるオンデマンド型インクジェット記録ヘッドにおいて、

前記電圧パルスの立ち上がり時間を前記インクノズルのインク体積速度の固有振動周期に等しくし、かつ前記電圧パルスの立ち下がり時間を前記固有振動周期のn倍(nは自然数)としたことを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

(2) 電圧パルスによる押し打ち駆動方法である請求項(1)記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

(3) 電圧パルスによる引き打ち駆動方法である請求項(1)記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

(4) インク加圧室と、このインク加圧室に連通するインクノズルと、前記インク加圧室の外側に配置され、かつ電圧パルスの印加により変形して前記インク加圧室の容積を変化させる電気機械変換素子とを備え、この電気機械変換素子の変形の際に生じる圧力波により、前記インク加圧室のインクを加圧してその加圧方向に対してほぼ直交する向きに設けられた断面形状が多角形の前記インクノズルから吐出させるオンデマンド型インクジェット記録ヘッドにおいて、

インク不吐出時には前記電気機械変換素子に予め電圧V_1を印加して前記インク加圧室の容積を減少させておき、印字に当たっては前記インク加圧室の容積が急激に変化しないようにt_sなる立ち下がり時間を経て前記電圧V_1を除荷したままt_sなる時間を保持し、その後t_sなる立ち上がり

時間を経て前記電圧V_1より高い電圧V_2を印加したままt_2なる時間を保持することにより前記インク加圧室の容積を急激に減少させて前記インクノズルからインクを吐出させ、更にt_3なる立ち下がり時間を経て前記電圧V_1よりも低い電圧V_3を印加したままt_4なる時間を保持し、その後t_5なる立ち上がり時間を経て前記電圧V_1に復帰する電圧パルス波形を前記電気機械変換素子に印加することを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

(5) 時間t_1ないしt_5が以下の範囲である電圧パルス波形を用いる請求項(4)記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

t_1：インクノズルにおけるインク体積速度の固有振動周期の1／2以上

t_2：10～50μsec

t_3：10μsec以下

t_4：50～150μsec

t_5：10μsec以下

t_6：10～50μsec

t_7：10μsec以下

(6) 時間t_1及びt_6の和が、インクノズルにおけるインク体積速度の固有振動周期の1／2以上である請求項(4)または(5)記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

(7) インクノズルの断面形状が四角形であり、このインクノズルとインク加圧室との間のインク供給路は深さが異なる段差を有する構造である請求項(4),(5)または(6)記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

3．発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明はインクジェット記録ヘッドの駆動方法にかかり、詳しくはオンデマンド型インクジェット記録ヘッドにおいて、インク吐出の安定化及び高速化ならびに印字品質の向上を可能にした記録ヘッドの駆動方法に関する。

(従来の技術)

従来、インクジェット記録ヘッド及びその駆動装置には多くの方式がある。これを大きく分類すると①連続噴射型②オンデマンド型(インパルス型)③静電吸引型の3つである。この中で、オンデマンド型インクジェット記録ヘッドは、構成が比較的簡単であり、しかも安価にて製造できるという特徴から、プリンタ等の記録ヘッドとして広く使用されている。

第12図及び第13図は、この記録ヘッドの主要部を示したもので、これらの図において、11はインクタンク、12はインク供給路、13は平面形状が円形または多角形状のインク加圧室、14はその中心に設けられた断面形状が例えば円形のインクノズル、15はインク加圧室13の外側においてインクノズル14とは反対側に設けられた振動板、16はこの振動板15に貼着された電気機械変換素子としての圧電素子であり、前記振動板15及び圧電素子16によりバイモルフが構成されている。

このような構成において、圧電素子16にパルス状の電圧が印加されると、圧電素子16は図示する矢印のように長さ方向に収縮して厚さ方向に膨張するため、振動板15が図の一点鎖線aのようにインク加圧室13の内側にたわむ。これによりインク加圧室13の容積が僅かながら減少し、振動板15の変形によって生じた圧力波により、インク加圧室13内のインクがインク滴となってインクノズル14から図のb方向に吐出される。なお、この記録ヘッドはインク加圧室13とインクノズル14とが直接連通した構造であり、インク滴はインクの加圧方向に対して平行な方向に吐出されるものである。

また、第14図に示すものは他の記録ヘッドの主要部を示したものであり、その基本的な構造やインク吐出の原理は第12図及び第13図に示したものとほぼ同様である。しかるにこの例では、インクノズル14'がインク加圧室13の側方に形成されていてインク滴はインクの加圧方向に対して直角方向に吐出されると共に、インク加圧室13とインクノズル14'との間には段差を有するインク供給路17が形成されている。

この記録ヘッドのインクノズル14'では、製造方法等の点からその断面形状を円形にすることが困難であるため、通　は断面形状が第15図(a)の

正方形、同図(b)の長方形、または同図(c)の台形に形成されている。

なお、第14図に示した記録ヘッドではインクノズル14'が記録ヘッドの側方に設けられているため、第12図及び第13図に示した記録ヘッドに比べてノズルピッチを短小化し易く、印字ドット数の増加により高解像度の印字が可能である。

ところで、圧電素子16に印加される電圧パルス波形としては、第15図(a)～(c)に示すものが多用されている。まず、第15図(a)は時刻t_1で電圧をV_1とし、(t_2-t_1)時間経過後の時刻t_2で電圧をゼロに除荷するものであり、インク滴は時刻t_1で吐出し、これを目的とする周波数に応じてn回(nは自然数)繰り返す。この際、電圧パルス幅Aを振動板15及び圧電素子16からなるパイモルフの固有振動周期と等しくした場合、このような電圧パルス波形による駆動方法は"押し打ち"の駆動方法と呼ばれている。

次に、同図(b)は時刻t_1で電圧をゼロとし、(t_2-t_1)時間経過後の時刻t_2で電圧をV_1とするものであり、インク滴は時刻t_2で吐出し、これを目的とする周波数に応じてn回繰り返す。この際、(t_2-t_1)の時間Bをパイモルフの固有振動周期の1／2とした場合、このような電圧パルス波形による駆動方法は"引き打ち"の駆動方法と呼ばれている。

更に、同図(c)は同図(a)に示した"押し打ち"の駆動方法の変形例であり、時刻t_1で電圧をV_1とし、(t_2-t_1)時間経過後の時刻t_2で電圧を$-V_1$とした後、(t_3-t_2)時間経過後の時刻t_3で電圧をゼロとするもので、インク滴は時刻t_1で吐出し、これを目的とする周波数に応じてn回繰り返すものである。

なお、第15図(b)に示した"引き打ち"の駆動方法は、インク加圧室13の容積を一旦増加させ、いわゆるインクノズル14,14'内のメニスカス(インクの出入り)を後退させてからインクを加圧するものであり、この駆動方法によれば、特開昭55－17589号公報に記載されているごとく、同図(a)の"押し打ち"に比べてインク滴を安定して吐出させることができ、かつ周波数応答性にも優れていることが知られている。

(発明が解決しようとする課題)

上述したように、圧電素子16に印加される電圧パルス波形に応じた記録ヘッドの駆動方法は様々であり、これらの駆動方法が記録ヘッドのインク吐出性に密接な関係を有することが周知の事実となっている。そして、第15図(a)～(c)に示した各駆動方法では、もっぱら電圧パルスの波高値及びパルス幅のみが着目され、これらの2つのパラメータによってインクの吐出性を制御しようとする場合が多い。

しかるに、インク吐出時の挙動を考えるとき、上記2つのパラメータのみによっては制御できない種々の好ましくない現象がある。例えば、インクノズル外部からの気泡の侵入によるインク不吐出等のほか、重大なものとしていわゆるサテライトの発生による不都合がある。すなわち、1回の電圧パルス波形を与えた場合、インクノズルから主インク滴に続いて時間的に遅れをもったサテライト(副インク滴)が数発吐出し、このサテライトによって文字を構成するドットがにじみ、印字品質が低下するという問題を生じる。また、インクノズルから吐出されたインク滴が曲がって直進性を失い、所望の文字を印字できないという不都合が発生する場合もある。

これらの現象はストロボ観測装置を用いて容易に観測することができ、実際に前記第16図(a)～(c)の電圧パルス波形を圧電素子16に印加した観測実験では、圧電素子16の面積を小さくするほどサテライトが発生し易いことが事実として判明した。また、このことは、以下に詳述する集中定数回路モデルを用いたインクジェット記録ヘッドの理論解析によっても明らかである。

すなわち、第12図及び第13図に示したインクジェット記録ヘッドを等価電気回路に置き換えると第17図に示すとおりとなる。同図において、mはイナータンス、cは音響容量、rは音響抵抗、Uは体積速度を示し、これらに関する添字の0はパイモルフからなる振動系、1はインク加圧室系、

2はインク供給路系、3はインクノズル系をそれぞれ意味している。それぞれの単位は、圧力：P〔N/m²〕、体積速度：U〔m³/s〕、イナータンス：m〔kg/m⁴〕、音響　量：c〔m⁵/N〕、音響抵抗：r〔Ns/m⁵〕を用いる。

これらのうち、振動系のm₀、r₀、インク供給路系のc₀及びインクノズル系のc₀は実際の計算過程で無視できるため、第17図の回路は第18図によって近似することができ、また、インク供給路系の定数はm₀＝k m₂、r₀＝k r₂の関係を有している。この第18図の等価回路を用いて、圧力Pを第19図に示すようなステップパルス応答におけるステップ関数としてとらえ、時間t≧0でのインクノズル系の体積速度U₂の過渡応答特性を求める場合、第18図の等価回路をラプラス変換した第20図の回路に基づいて解析すると、前記体積速度U₂は(1)式のとおりとなる。

$$U_2(t)=\frac{P c_0}{m_2(c_0+c_1)E}\exp(-D t)\sin E t \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

ここで、Dは減衰定数、Eは角周波数であり、これらはそれぞれ以下の(2)，(3)式により表わされる。

$$D=r_2/2m_2 \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

$$E=\sqrt{\frac{(1+1/k)}{m_2(c_0+c_1)}-D^2} \quad \cdots\cdots\cdots(3)$$

また、電圧V(t)と圧力P(t)との関係は以下の(4)式のとおりとなり、(4)式のCは(5)式で表わされる。

$$V(t)=P(t)/C \quad \cdots\cdots\cdots(4)$$

$$C=\frac{24 t_p d_{31}(1+\alpha)\alpha\eta}{S_{11}^E\cdot a^2\cdot(1-\nu_p)(7+\nu_p)(1+\alpha\eta)} \quad \cdots\cdots\cdots(5)$$

ここで、t_pは圧電素子の厚さ、αは振動板の厚さをt_vとした場合のt_v/t_p、S_{11}^Eは圧電素子のコンプライアンス、aは圧電素子の半径、d_{31}は横効果圧電定数である。また、$\eta=S_{11}^E\cdot E_v(1-\nu_p^2)/(1-\nu_v)^2$であり、ここに$E_v$は振動板のヤング率、$\nu_p$は圧電素子のポアソン比、$\nu_v$は振動板のポアソン比である。

前記(1)，(4)式に基づいて、第21図上段に示す如くt＝0でV＝V_0のステップ電圧を印加した場合の体積速度U_2を時間tに対してプロットした結果は同図下段に示すとおりである。同図において、体積速度U_2の2番目以後の極大値はサテライトを意味し、2番目のサテライトの最大値Bと主インク滴の最大値U_{2m}(＝A)との比B／Aは50％となっている。ここで、最大値U_{2m}をインクノズルの断面積で割ると、インク滴の吐出速度が得られる。また、図中、Tは体積速度U_2の固有振動周期を示し、前述した(3)式を用いて、T＝2π／Eにより求められる。更に、インク滴の体積Qは、前記(1)式をt＝0～t_1まで積分した値となり、次の(6)式によって表わされる。

$$Q=\frac{P c_0}{1+1/k}\{1+\exp(-\pi D/E)\} \quad \cdots\cdots\cdots(6)$$

第22図は、上述の解析結果に基づいて矩形波パルス電圧を印加した場合の体積速度U_2の振動をプロットしたものである。同図においても、体積速度U_2の2番目以後の極大値はサテライトを意味しており、かかるサテライトがドットのにじみによる印字品質の低下をもたらすことになる。そしてこのサテライトの発生は、圧電素子16の面積が小さいほど顕著となる。

このような問題は、圧電素子16の小型化により記録ヘッドの小型化を図りたい場合に大きな障害であり、換言すれば、従来では記録ヘッドの小型化とサテライトの除去による印字品質の向上、ひいてはインク吐出の安定性確保が同時に達成できないという問題があった。

一方、このような問題点をインクノズルの断面形状との関連で考察すると、第14図に示した記録ヘッドではインクノズル14′の断面形状が第15図のような多角形であるため、第12図及び第13図に示したように断面形状が殆ど円形で緩やかなテーパを有するインクノズル14を備えた記録ヘッドに比べて、以下のような新たな問題を生じることになる。すなわち、第12図及び第13図に示したインクノズル14では、その構造に起因してインクの流

れやインクメニスカスの挙動がインクノズル14内で不均一になることはないが、第14図に示したインクノズル14'では、第16図(a)や(b)のような電圧パルス波形そのものではインク滴の吐出が不安定となりやすく、印字品質上の不都合が発生しまい。これは、前述の如くインクノズル14'の断面形状が多角形であるので、その断面内の位置に応じてインクが受ける抵抗が別々となり、インクメニスカスの挙動が不均一になり易いためではないかと考えられている。

ここで、記録ヘッドの構造上は、前述した如く第14図の記録ヘッドの方がノズルピッチを短小化して解像度を向上させることができ、マルチノズル化し易いという特徴があるため、このように特にインクノズルの断面形状が多角形の記録ヘッドにおいて、インク滴の吐出安定化及び印字品質の向上を図れる駆動方法の提供が要請されている。

本発明は上記問題点を解決するべくなされたもので、第1の発明の目的とするところは、サテライトを除去して印字品質の向上及びインク吐出の安定化を図ると共に、記録ヘッドの小型化をも可能にしたインクジェット記録ヘッドの駆動方法を提供することにあり、更に、第2の発明の目的とするところは、インクノズルの断面形状が多角形であっても印字品質の向上及びインク吐出の安定化を図り得るインクジェット記録ヘッドの駆動方法を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

上記目的を達成するため、発明者等は上述した従来の理論解析に改良を加えて解析した結果、第1の発明として、駆動電圧パルスの立ち上がり時間をインクノズルのインク体積速度の固有振動周期と等しくし、前記電圧パルスの立ち下がり時間を前記固有振動周期のn倍(nは自然数)とすることにより、記録ヘッドの構造の若干の変更や駆動電圧パルス波形の種類に拘らず、サテライトを除去してインク吐出の安定化を可能にしたものである。

また、第2の発明として、発明者等はインクノズル内のインク体積速度(メニスカスの動き)に着目し、メニスカスの後退は緩やかとし、逆にメニスカスの前進(インク吐出)は速やかに行い、かつインク滴(もしくはインク柱)の吐出量を制御可能な電圧パルス波形を提供することにより、断面形状が多角形のインクノズルをもつ記録ヘッドにおいてもインク吐出の安定化及び印字品質の向上を可能にしたものである。

(作用)

第1の発明において、本発明者等は、矩形パルス応答解析においてパルスの立ち上がりと立ち下がりに着目して解析を進めた。その結果、圧力Pを第1図のように立ち上げた場合のラプラス変換は、

$$P(s)=\frac{P}{t_1}\cdot\frac{1}{s^2}\left(1-\exp(-t_1 s)\right) \quad \cdots\cdots\cdots (7)$$

となる。これをラプラス変換(t→s)した集中定数回路に代入してインクノズルのインク体積速度を求めると、以下の(8)、(9)式のようになる。

$$U'(t)=\frac{Pc_0}{t_1}\cdot\left(1-\frac{w}{E}\exp(-Dt)\sin(Et-\phi)\right)$$

$$(0\leq t\leq t_1) \quad \cdots\cdots\cdots (8)$$

$$U''(t)=\frac{Pc_0 w}{t_1 E}\cdot\exp(-Dt)\left\{\sin(Et-\phi)-\exp(Dt_1)\cdot\sin\left\{E(t-t_1)-\phi\right\}\right\}$$

$$(t>t_1) \quad \cdots\cdots\cdots (9)$$

ここで、$\phi=\tan^{-1}(-E/D)$、

$$w=\sqrt{\frac{1+1/k}{m_0(c_0+c_1)}}$$

である。

いま、矩形パルスが第2図に示すようなものであるとき、インクノズルの体積速度は以下のとおりとなる。

$$\left.\begin{aligned} U_P(t)&=U_1(t) && (0\leq t\leq t_1)\\ U_P(t)&=U_1(t)-U_1(t-t_1) && (t>t_1)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots (10)$$

そして、この際の前記体積速度の挙動は、前述した第22図のようになる。

一方、圧力Pを、前述した第1図に準じて第3図のように立ち上がり時間t_1を考慮したものとすると、インクノズルの体積速度は以下のとおりとなる。

$$U_P(t)=U'(t) \quad (0\leq t\leq t_0)$$
$$U_P(t)=U''(t-t_0) \quad (t_0<t\leq t_0)$$
$$U_P(t)=U''(t-t_0)-U_2(t-t_0) \quad (t>t_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

また、圧力Pを、立ち上がり時間t_0のみならず第4図のように立ち下がり時間(t_0-t_0)をも考慮したものとすると、上記体積速度は以下のとおりとなる。

$$U_P(t)=U'(t) \quad (0\leq t\leq t_0)$$
$$U_P(t)=U''(t-t_0) \quad (t_0<t\leq t_0)$$
$$U_P(t)=U''(t-t_0)-U'(t-t_0) \quad (t_0<t\leq t_2)$$
$$U_P(t)=U''(t-t_0)-U''(t-t_2) \quad (t>t_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

このように立ち上がり時間及び立ち下がり時間を考慮した電圧パルスを用い、例えば第16図(b)の引き打ち駆動方法により記録ヘッドを駆動した場合について考察する。

第5図に示すように、立ち下がり時間$t_A=2T$(Tはインクノズルのインク体積速度の固有振動周期)、立ち上がり時間$t_B=T$の電圧パルスを圧電素子に印加した際の体積速度の解析結果は第6図のとおりとなる。本発明によれば、インク吐出動作が1パルス当たりほぼ1回となり、第22図のような余分な振動が抑えられるため、サテライトが殆ど生じなくなる。第6図におけるサテライトの最大値Bと主インク滴の最大値Aとの比B/Aはほぼ6.6%であり、圧電素子の形状が変わった場合でも、電圧パルス波形の立ち下がり時間t_A及び立ち上がり時間t_Bを前記固有振動周期Tに合わせて制御することにより、サテライトの発生を解消してインク吐出の安定化を実現することができる。

一方、第2の発明においては、以下のような電圧パルス波形を用いて記録ヘッドを駆動する。すなわち、インク不吐出時には圧電素子に予め電圧V_1を印加してインク加圧室の容積を減少させておき、印字に当たってはインク加圧室の容積が急激に変化しないようにt_2なる立ち下がり時間を経て前記電圧V_1を除荷したままt_0なる時間を保持し、その後t_2なる立ち上がり時間を経て前記電圧V_1より高い電圧V_2を印加したままt_0なる時間を保持することによりインク加圧室の容積を急激に減少させてインクノズルからインクを吐出させ、更にt_2なる立ち下がり時間を経て前記電圧V_1よりも低い電圧V_3を印加したままt_0なる時間を保持し、その後t_1なる立ち上がり時間を経て前記電圧V_1に復帰する電圧パルス波形である。

ここで、上記時間t_1ないしt_3としては、t_1はインクノズルにおけるインク体積速度の固有振動周期の1/2以上とし、また、t_0は10～50μsec、t_0は10μsec以下、t_0は50～150μsec、t_2は10μsec以下、t_3は10～50μsec、t_3は10μsec以下とし、更に、時間t_2及びt_3の和をインクノズルにおけるインク体積速度の固有振動周期の1/2以上とするものである。

このような電圧パルス波形を用いることにより、断面形状が多角形のインクノズルを有する記録ヘッドであってもインク吐出の安定化が可能になる。

(実施例)

まず、第1の発明の一実施例を説明する。第1の発明について、(作用)の項で詳述した理論解析に基づき、インクノズルの体積速度の固有振動周期Tを求めてみた。まず、電気等価回路の各定数を以下の式により計算する。

$$c_0=\frac{\pi a^4}{K_1(E_P\cdot t_P^2+E_V\cdot t_V^2)} \quad \cdots\cdots\cdots(13)$$

$$c_1=\frac{\pi a^4 d_0}{\beta v^2} \quad \cdots\cdots\cdots(14)$$

$$r=\frac{32\gamma\ell}{Sd^2} \quad \cdots\cdots(15) \qquad m=\frac{\ell\beta}{S} \quad \cdots\cdots(16)$$

ここで、E_P, E_Vは前述のようにそれぞれ圧電素子及び振動板のヤング率、K_1は定数(実験では$K_1=12.5$)、aは圧電素子の半径、t_P, t_Vはそれぞれ圧電素子及び振動板の厚さ、d_0はインク加圧室の深さ、vはインク中の音速、γはインク粘度、ℓはインクノズルにおけるインク流路長、Sは流路断面積、βはインク密度、dは流路直径

を示す。なお、流路直径dは2S／(b＋o)であり、b，oは流路断面の辺の長さである。

また、インクノズル系においてl＝0.3mm(ノズル外径＝40μm、同内径＝90μm)、インク加圧室系においてdo＝0.2mm、振動系においてE'r＝5.5×10¹⁰N／m²、Ev＝9.15×10¹⁰N／m²、a＝0.79mm、tr＝0.2mm、tv＝0.2mm、前述した機効果圧電定数dzi＝245m／V、インク供給路系における第18図中のk＝5、インク粘度γ＝1.6Cp、インク密度β＝1.0g／cm³、印加電圧波高値V。＝50Vとすると、結果として固有振動周期T＝20μmとなる。

上記理論解析から得られた結果をもとに実験を行ない、この実施例による効果を確認してみた。実験では、従来の駆動方法については矩形電圧パルスによる押し打ちとし、パルス幅＝周期のときに吐出特性がよいものとしてこの記録ヘッドに波高値60V、パルス幅20μm、周波数3KHzの矩形電圧パルスを印加したのに対して、この実施例においては上記解析結果に基いた波高値100V、パルス幅20μm、立ち下がり時間40μm、立ち上がり時間20μm、周波数3KHzの電圧パルスを印加した。また、本実施例については引き打ちの駆動方法も試みた。これらによるインク飛距離、サテライト及び印字によるドット形状の評価結果を以下の表1に示す。

(以下、余白)

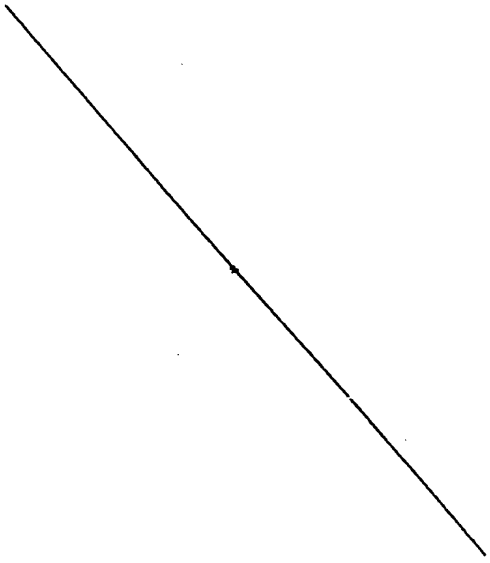
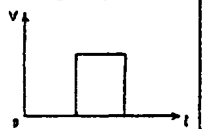
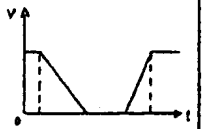
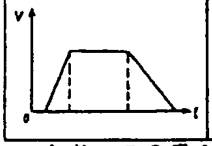


表 1

評価事項 駆動電圧パルス波形	インク飛距離	サテライト	ドット形状
従来方法 	○	× (発生大)	× (形状いびつ)
本実施例 (引き打ち) 	○	○ (皆無)	○
本実施例 (押し打ち) 	○	○ (皆無)	○

なお、この表1において、○は良好、×は不良を示している。

この表1から明らかなように、本実施例によれば十分なインク飛距離が得られ、サテライトが発生しないと共に、ドット形状も良好で印字品質を高められることが判明した。

次に、第2の発明の一実施例を説明する。この実施例では、感光性ガラス(例えば、HOYA株式会社製の商品名「PEG-3」など)を素材に用いて第7図及び第8図に示す構造の記録ヘッドを製作し、後述する電圧パルス波形による駆動方法とインク吐出性との関係を試験研究した。ここで、感光性ガラスとは、インク供給路などの溝を形成したい所要の部分のみに紫外線を照射して潜像をつくり、これを現像(熱処理)すると、その部分が結晶化されて酸に溶けやすくなるので、エッチング時間の調整等によって溝の深さを正確に制御できる材料である。この感光性ガラスはその表面上に微細なパターンを精度よく加工でき、かつ適切な熱処理条件によって融着(物理的接合)も可能であるという特徴を有している。

一方、この感光性ガラスは露光→現象(熱処理)によって異方性となるため、そのエッチングによる溝の断面形状は方形となり、例えば断面形状が

半円形のように溝の底部分に曲率を付与することが困難である。また、インク供　路等の深さを緩やかなテーパをもって変化させること等も不可能である。

第７図において、第14図に示したのと同様に11はインクタンク、12はインク供給路、13はインク加圧室、14'は断面形状が例えば第15図(a)～(c)の如く多角形(四角形)に形成されたインクノズル、15は振動板、16は振動板15と共にバイモルフを形成している圧電素子である。ここで、インク加圧室13とインクノズル14'との間にはそれぞれ深さの異なるインク供給路12Ａ,12Ｂが形成されている。また、第８図は第７図とほぼ同様な構成であるが、インク加圧室13とインクノズル14'との間には均一の深さを有するインク供給路12Ａのみが形成されている点が異なっている。

また、第７図及び第８図において、インクノズル14'の断面形状は深さと幅とがそれぞれ0.035mmの正方形と、長辺が0.04mm、短辺が0.03mmで深さが0.035mmの台形との２つとし、インク供給路12,12Ａの深さは何れも0.15mm、インク供給路12Ｂの深さは0.1mmとした。更に、圧電素子16の形状は1.5×3.0×0.15mmとした。

また、上記寸法をもつ記録ヘッドにおけるインク体積速度の固有振動周期は、前述の第１の発明の実施例において説明したように記録ヘッドの構成を電気音響変換した等価回路図の数値解析から、120～135μsecと求められた。

〈比較例１〉

第７図及び第８図に示す記録ヘッドに前記第16図(a),(b)の電圧パルス波形を印加してインク吐出性を調べた。この時、第16図(a),(b)における電圧V_1は120～150Ｖ、時間Ａ，Ｂ(何れもt_2-t_1)は20～150μsec、パルスの立ち上がり時間及び立ち下がり時間は何れも８μsec、駆動周波数は１～５kHzとして試験した。この条件ではサテライトの発生も多く、かつインクノズル14'の外部からの気泡の侵入も数多くみられ、良好な印字品質は得られなかった。

〈実施例１〉

発明者等は、種々検討を行い、第９図に示す電圧パルス波形が本発明の目的に合致することを見出し、その細部について実験的考察を進めた結果、以下の要件により本発明の目的を達成するに至った。

すなわち第９図の電圧パルス波形では、まず、予め電圧V_1を圧電素子16に印加しておき、この電圧V_1を立ち下がり時間t_1を経てゼロに除荷する。ここで、時間t_2は電圧V_1を除荷してインク加圧室13の容積を復元し、インクの吸い込みとインクノズル14'内のメニスカスの後退を行う期間であり、この時間t_2はインク体積速度の固有振動周期の１／２以上の時間としてメニスカスの後退を緩やか、かつ少なくするように設定され、または、t_1と後述するt_3との和がインク体積速度の固有振動周期の１／２以上の時間になるように設定して、メニスカスの動きを安定化することが必要とされる。

次に、電圧ゼロの状態を例えば10～50μsecの時間t_3にわたって保持した後、電圧ゼロから前記電圧V_1よりも高い電圧V_2に立ち上げる時間t_4は、例えば10μsec以下に設定される。この時間t_4が10μsec以上であると、圧力波の発生が不十分となってインク吐出速度が低下し、記録媒体に対するインクの着弾位置がずれ、印加品質に欠陥を生じることとなる。

次に、電圧V_2の保持時間であるt_5は、例えば50～150μsecの範囲であれば特に印字品質上、不都合を与えることはない。そして、この時間t_5を経過した後、立ち下がり時間t_6を経て前記電圧V_1よりも低い電圧V_3に立ち下げることとする。この電圧V_3は、インクノズル14'内のメニスカスを瞬間的に後退させて吐出インク滴もしくはインク柱を作為的に切断し、サテライトの発生やインク柱の曲がり等を防止する役割をもつものである。従って、電圧V_3は電圧ゼロと電圧V_1以下の範囲内にあればよい。なお、前記立ち下がり時間t_6は例えば10μsec以下に設定される。

また、電圧V_3の保持時間t_7は、10～50μsecの範囲にあれば十分である。その後、電圧V_3の

状態から立ち上がり時間 t_7 を経て再び前記 V_1 に復帰させるが、この　の　間 t_7 は前記立ち下がり時間 t_3 と同様に例えば10μsec以下であればよい。

更に、上述した種々の印加電圧のレベルは、第7図または第8図の記録ヘッドであれば、V_1 は100V前後、V_2 は120～170V、V_3 は50～75Vの範囲が最適であることが判明している。

以下、前記時間 t_1～t_7 及び電圧 V_1～V_3 を種々異ならせた10の電圧波形パターンを用いたときの、サテライト発生の有無及びインク柱の曲がりについての実験結果を表2に示す。なお、t_1～t_7 の単位はμsec、V_1～V_3 はV(ボルト)である。

(以下、余白)

表　2

電圧波形パターン	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	V_1	V_2	V_3	サテライトの発生	インク柱の曲がり
1	40	10	8	50	8	20	8	100	150	50	×	○
2	75	10	8	50	8	20	8	100	150	50	○	○
3	75	10	8	80	—	—	—	100	150	100	○	×
4	75	10	8	50	8	20	8	150	150	50	×	×
5	70	10	20	50	8	20	8	100	150	50	×	×
6	75	10	8	100	8	20	8	100	150	50	○	○
7	45	45	8	50	8	20	8	100	150	50	○	○
8	45	45	8	50	8	20	8	100	150	75	○	○
9	70	10	8	50	8	20	8	133	200	100	○	×
10	70	10	8	50	8	50	8	100	150	75	○	○

なお、この表2において、"○"はサテライトの発生がない場合、またはインク柱の曲がりが認められない場合を、"×"はサテライトの発生がある場合、またはインク柱の曲がりが認められた場合をそれぞれ示す。

ここで、本発明の電圧パルス波形を印加した際の振動板15の変位挙動を模式的に示すと、第10図及び第11図のようになると考えられる。このうち第10図において、Cは電圧パルス波形を、Dは振動板15の変位挙動をそれぞれ示しており、また、第11図における①～⑤は第10図中のタイミング①～⑤にそれぞれ対応している。

振動板15の変位挙動を第11図に基づいて説明すると、まず、①では振動板15がインク加圧室13内へ変位し、②では振動板15が圧電素子16側に戻る。また、③では例えば $V_2=150$V を印加することにより、振動板15が①の場合よりも大きくインク加圧室13内へ変位し、このタイミングにてインクが吐出する。そして、④では例えば $V_3=50$V を印加することにより、振動板15が③の場合よりも小さく圧電素子16側に戻り、⑤では再び電圧 V_1 を印加することによって振動板15がインク加圧室13内へ変位し、①の状態に戻るものである。

(発明の効果)

以上詳述したように第1の発明によれば、記録ヘッドの圧電素子に印加する電圧パルス波形の立ち上がり及び立ち下がりを、インクノズルの体積速度に応じた時間に設定したことにより、サテライトや気泡侵入の原因となる体積速度の振動を解消することができ、印字品質の向上及びインク吐出性の安定化、高速化が可能になる。また、サテライトを生じないため、圧電素子の小型化ひいては記録ヘッド全体の小型化を図ることができる。

更に第2の発明によれば、記録ヘッドの圧電素子に印加する電圧パルス波形を、インクノズル内のインク体積速度(メニスカスの動き)に着目してメニスカスの後退を緩やかとし、逆にメニスカスの前進(インク吐出)を速やかに行い、かつインク滴(またはインク柱)の吐出量を制御できる形にしたため、断面形状が四角形の如き多角形のインクノズルをもつ記録ヘッドでも安定なインク吐出が可能になり、印字品質の向上を図ることができると共に、感光性ガラスを使用して高解像度でマルチノズルの記録ヘッドを提供できるという効果がある。

4．図面の簡単な説明

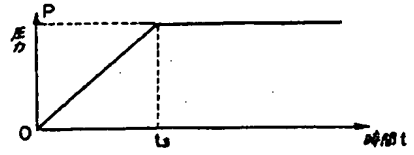
第１図ないし第６図は第１の発明の作用を説明するためのもので、第１図は圧力の単ステップパルス応答波形、第２図は圧力の矩形パルス波形、第３図は立ち上がり時間を考慮した圧力のパルス波形、第４図は立ち上がり時間及び立ち下がり時間を考慮した圧力のパルス波形、第５図は第１の発明における駆動電圧パルス波形、第６図は第５図の駆動電圧パルス波形によるインク体積速度の応答波形、第７図ないし第11図は第２の発明の一実施例を説明するためのもので、第７図及び第８図はオンデマンド型インクジェット記録ヘッドの概略的な断面図、第９図は駆動電圧パルス波形、第10図は電圧パルス波形及び振動板の変位挙動を示す図、第11図①～⑤は振動板の変位挙動を示す模式図、第12図ないし第22図は従来技術を説明するためのもので、第12図は記録ヘッドの一例を示す概略的な断面図、第13図は同じく平面図、第14図は上記記録ヘッドの他の例を示す概略的な断面図、第15図(ａ)～(ｏ)はインクノズルの断面図、第16図(ａ)は押し打ちの駆動電圧波形、同図(ｂ)は引き打ちの駆動電圧波形、同図(ｏ)は押し打ちの変形例の駆動電圧波形、第17図は電気音響変換した記録ヘッドの等価回路図、第18図は第17図の回路を簡略化した等価回路図、第19図は圧力のステップ応答波形、第20図は第18図の回路をラプラス変換した場合の等価回路図、第21図はインク体積速度のステップ応答を示す波形図、第22図は同じくパルス応答を示す波形図である。

11…インクタンク　12,12A,12B…インク供給路
13…インク加圧室　14,14'…インクノズル
15…振動板　16…圧電素子

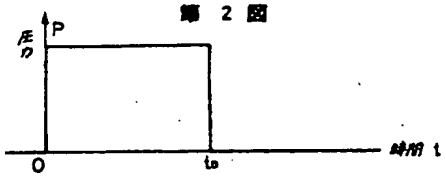
特許出願人　富士電機株式会社

代理人　弁理士　森田雄一

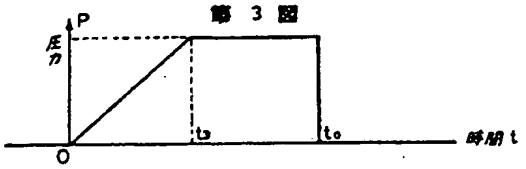
第１図



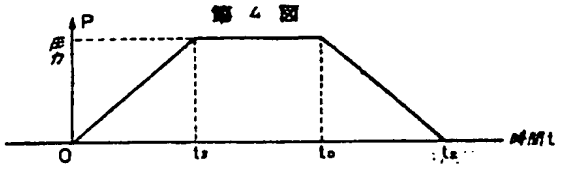
第２図



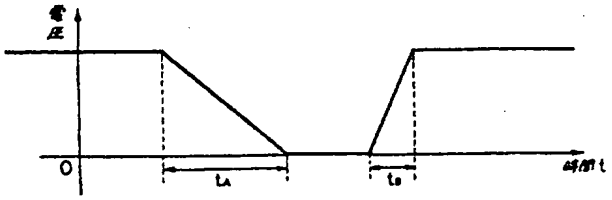
第３図



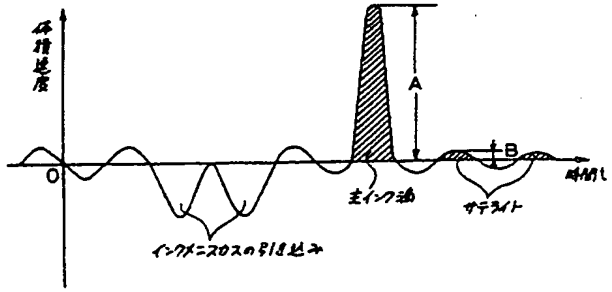
第４図



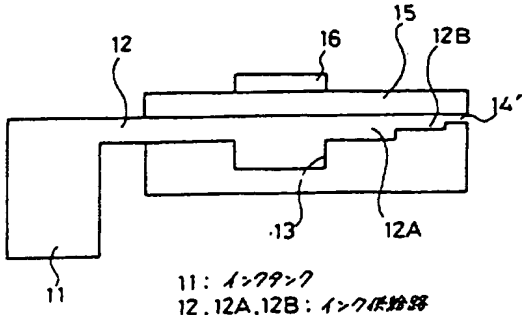
第５図



第６図

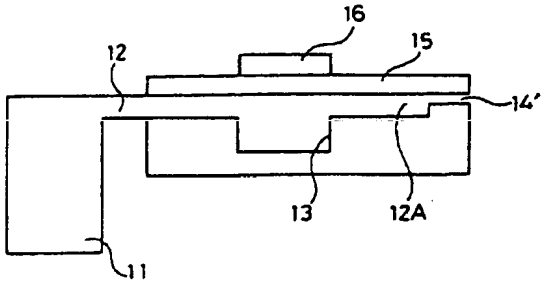


第 7 図

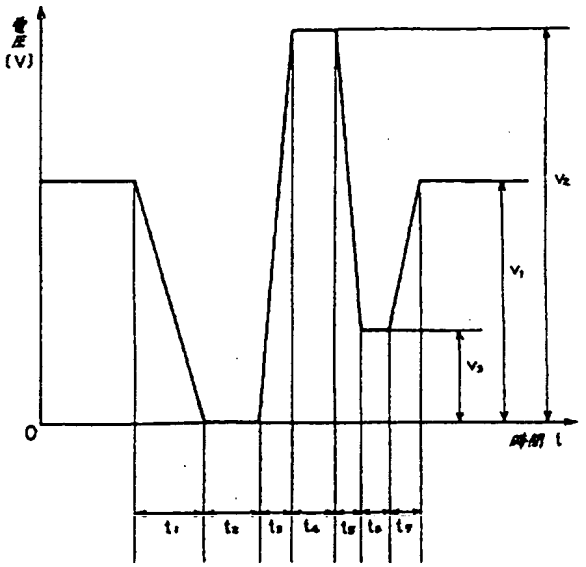


11：インクタンク
12，12A，12B：インク供給路
13：インク加圧室　　14'：インクノズル
15：振動板　　16：圧電素子

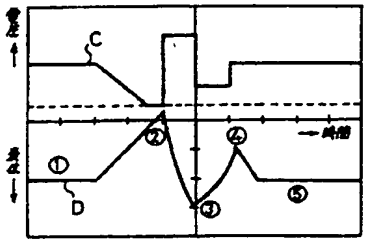
第 8 図



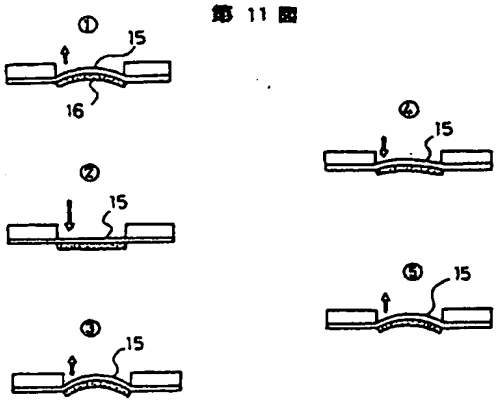
第 9 図



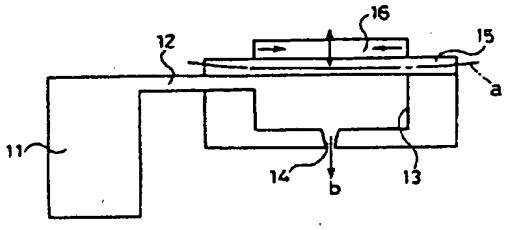
第 10 図



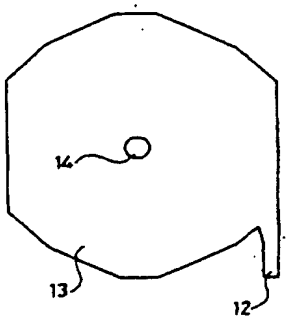
第 11 図



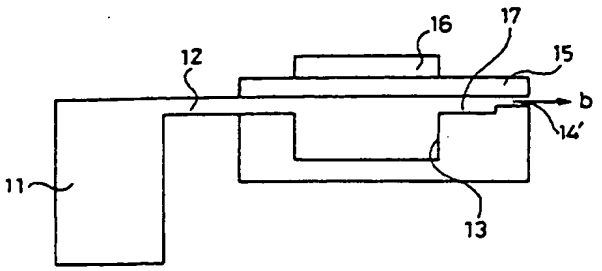
第 12 図



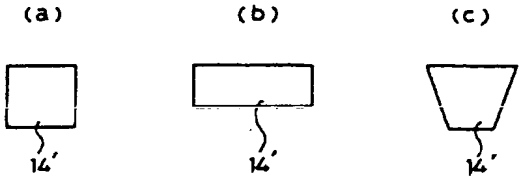
第 13 図



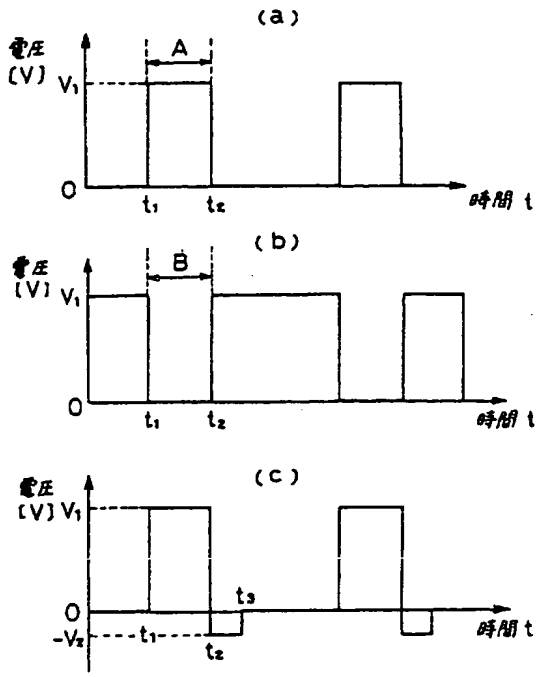
第 14 図



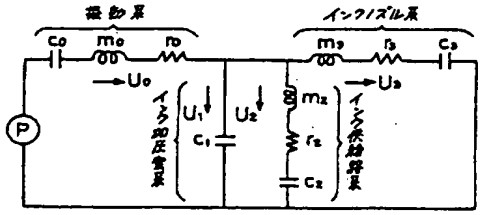
第 15 図



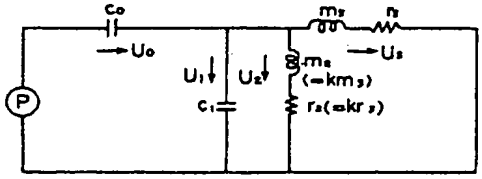
第 16 図



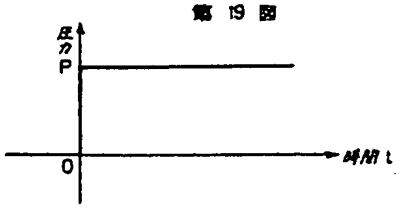
第 17 図



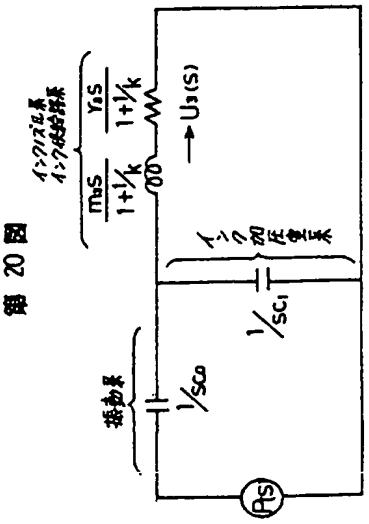
第 18 図



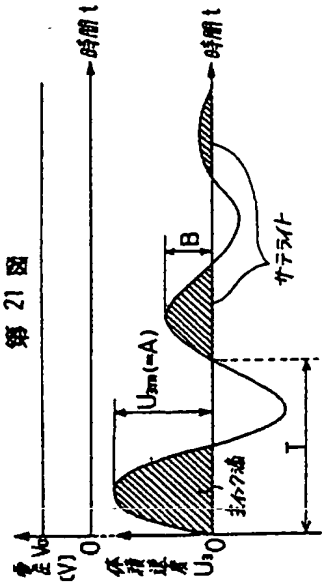
第 19 図



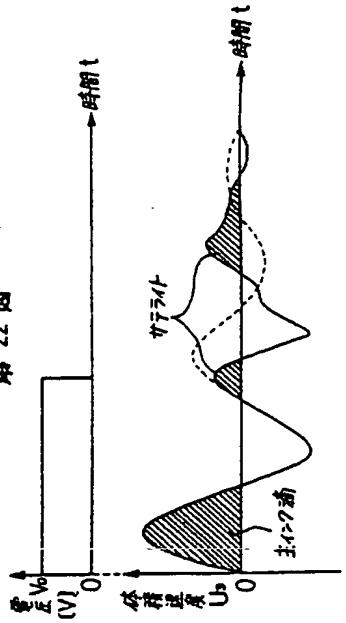
第20図



第21図



第22図



第1頁の続き

⑫発明者 斉藤 岳史 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内

⑫発明者 河村 幸則 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内

⑫発明者 北出 雄二郎 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内